

УДК 04.32.26+550.34.64

Использование искусственных нейронных сетей в классификации зашумленных сейсмических сигналов

© 2016 г. К.В. Кислов, В.В. Гравиров

*Институт теории прогноза землетрясений и математической геофизики РАН,
г. Москва, Россия*

Автоматическая идентификация зашумленных сейсмических событий включает в себя анализ сложных взаимоотношений между данными, поступающими из различных источников, и по-прежнему проблематична. К тому же объемы данных все растут и полной автоматизации работы с сейсмическими записями мешают такие факторы, как низкое отношение сигнал-шум, наличие случайных всплесков техногенного шума и изменения в фазах и амплитудах сигналов при прохождении сейсмических волн через среду. Использование искусственных нейронных сетей (НС) в сейсмометрии, как ожидается, станет еще более популярным в будущем. НС просты в применении, а результаты их работы часто превосходят альтернативные методы. Эта технология быстро движется от исследовательской среды к повседневному применению. Для ее более широкого внедрения НС в сейсмометрию необходимо тесное сотрудничество сейсмологов и специалистов в области нейроинформатики. Одна из задач настоящей статьи состоит в том, чтобы обозначить некоторые перспективные направления такого сотрудничества и познакомить специалистов обеих областей знаний с проблемами и возможностями друг друга.

Ключевые слова: классификация сигналов, детектирование сейсмических сигналов, искусственные нейронные сети, рутинная обработка.

PACS 91.30.Ab – Theory and modeling, computational seismology

PACS 93.85.Bc – Computational methods and data processing, data acquisition and storage

PACS 93.85.Rt – Seismic methods

Литература

- Баранов С.В. Применение нейронных сетей к уменьшению ложных срабатываний при автоматическом детектировании сейсмических сигналов / Тезисы докладов Второй региональной научно-технической конференции “Проблемы комплексного геофизического мониторинга Дальнего Востока России”. Петропавловск-Камчатский: ГС РАН, 2009. С.108–190.
- Гравиров В.В., Кислов К.В., Винберг Ф.Э. Выделение информативного сигнала из нестационарных сильнозашумленных сейсмических данных с использованием нейросетевых классификаторов // Промышленные АСУ и контроллеры. 2012. № 12. С.45–49.
- Кислов К.В., Гравиров В.В. Распознавание вступления землетрясения на фоне техногенных шумов // Сейсмические приборы. 2010. Т. 46, № 2. С.26–46.
- Назимов А.И. Адаптивные методы анализа зашумленных нестационарных сигналов на основе вейвлет-преобразования и алгоритма искусственных нейронных сетей: Дис. ... канд. физ.-мат. наук. Саратов, 2014.
- Самарин А.И. Нейронные сети с преднастройкой // Научная сессия МИФИ-2005. VII Всероссийская научно-техническая конференция “Нейроинформатика – 2005”: Лекции по нейроинформатике. М.: МИФИ, 2005. С.13–42.
- Abu-Elhoud M.A., Abou-Chadi F.E.Z., Amin A.E.M., Mahana M. Classification of seismic events in Suez Gulf area, Egypt using artificial neural network // ICEEE’04: 2004 International Conference on Electrical, Electronic and Computer Engineering. Proceedings, 2004. P.337–340.
- Bertsekas D.P., Tsitsiklis J.N. Neuro-Dynamic Programming // Athena Scientific, 1996. 512 p.

- Böse M., Wenzel F., Erdik M. PreSEIS: A neural network-based approach to earthquake early warning for finite faults // *Bull. Seismol. Soc. Amer.* 2008. V. 98, N 1. P.366–382.
- Carpenter G.A., Grossberg S. Adaptive resonance theory. *Encyclopedia of Machine Learning and Data Mining* / Eds. C. Sammut, G. Webb. Berlin: Springer-Verlag, 2014. 18 p. (<http://cns.bu.edu/~steve/CarpenterGrossbergMachineLearning.pdf>).
- Cichowicz A. An automatic S-phase picker // *Bull. Seismol. Soc. Amer.* 1993. V. 83, N 1. P.180–189.
- Cybenko G. Approximation by superpositions of a sigmoidal function // *Mathematical Control Signals Systems*. 1989. N 2. P.303–314.
- Del Pezzo E., Esposito A., Giudicepietro F., Marinaro M., Martini M., Scarpetta S. Discrimination of earthquakes and underwater explosions using neural networks // *Bull. Seismol. Soc. Amer.* 2003. V. 93, N 1. P.215–223.
- Dreyfus G. *Neural Networks: Methodology and Applications*. Springer Science & Business Media, 2005. 498 p.
- Essenreiter R., Karrenbach M., Treitel S. Identification and classification of multiple reflections with self-organizing maps // *Geophys. Prospect.* 2001. V. 49, N 3. P.341–352.
- Evans J.R., Allen S.S. A Teleseism-specific detection algorithm for short-period traces // *Bull. Seismol. Soc. Amer.* 1983. V. 73, N 4. P.1173–1186.
- Gentili S., Bragato P. A neural-tree-based system for automatic location of earthquakes in Northeastern Italy // *Journal of Seismology*. 2006. V. 10, N 1. P.73–89.
- Gravurov V.V., Kislov K.V. Development of a hybrid earthquake early warning system based on single sensor technique // *NED University Journal of Research*. 2012. Thematic Issue on Earthquakes. Karachi, Pakistan. P.1–20. (<http://www.neduet.edu.pk/NED-Journal/pdf/12earthquakespaper1.pdf>).
- Hecht-Nielsen R. Kolmogorov's mapping neural network existence theorem / *IEEE First Annual Int. Conf. on Neural Networks*, San Diego. 1987. V. 3. P.11–13.
- Kislov K.V., Gravurov V.V. Neural network techniques for earthquake detection in high noise // *Электронный журнал "Исследовано в России"*. 2010. 070e. C.837–848. (<http://www.scijournal.ru/articles/2010/070e.pdf>).
- Kislov K.V., Gravurov V.V. Magnitude threshold reducing for a network of close located Mobile stations // *Proceedings of the 10th Intl Conf. "Problems of Geocosmos"* (2014, St. Petersburg, Russia) / Eds. V.N. Troyan, N.Yu. Bobrov, A.A. Kosterov, A.A. Samsonov, N.A. Smirnova, T.B. Yanovskaya. St. Petersburg State University, St. Petersburg, Petrodvorets, 2014. P.178–183.
- Kislov K.V., Vinberg F.E., Kushnir A.F., Gravurov V.V. Early warning system and man-made noise / *Proceedings of the IV International Conference Problems of Cybernetics and Informatics (PCI'2012)*, Baku, Azerbaijan, 2012. P.52–55. (<http://www.pci2012.science.az/3/04.pdf>).
- Köhler A., Ohrnberger M., Scherbaum F. Unsupervised pattern recognition in continuous seismic wavefield records using Self-Organizing Maps // *Geophysical Journal International*. 2010. V. 182, N 3. P.1619–1630.
- Kurzon I., Vernon F.L., Rosenberger A., Ben-Zion Y. Real-time automatic detectors of P and S waves using singular value decomposition // *Bull. Seismol. Soc. Amer.* 2014. V. 104(4). P. 1696–1708.
- Kuyuk H.S., Yildirim E., Dogan E., Horasan G. An unsupervised learning algorithm: application to the discrimination of seismic events and quarry blasts in the vicinity of Istanbul // *Nat. Hazards Earth Syst. Sci.* 2011. V. 11. P.93–100.
- Leonard M., Kennett B.L.N. Multi component autoregressive techniques for the analysis of seismograms // *Phys. Earth Planet. Int.* 1999. V. 113, N 2. P.247–264.
- Lin Chu-Chieh J., Pei-Yang Lin, Tao-Ming Chang, Tzu-Kun Lin, Yuan-Tao Weng, Kuo-Chen Chang and Keh-Chyuan Tsai. Development of on-site earthquake early warning system for Taiwan // *earthquake research and analysis* // *New Frontiers in Seismology* / Ed. by S. D'Amico. Publisher: InTech, 2012. P.329–358.
- Lo J.T., Bassu D. Adaptive multilayer perceptrons with long- and short-term memories // *IEEE Transactions On Neural Networks*. 2002. V. 13, N 1. P.22–33.
- Madureira G., Ruano A.E. A neural network seismic detector // *Acta Technica Jaurinensis*. 2009. V. 2, N 2. P.159–170.
- McEvilly T.V., Majer E.L. ASP: An automated seismic processor for microearthquake networks // *Bull. Seismol. Soc. Amer.* 1982. V. 72, N 1. P.303–325.

- Plešinger A., Růžek B., Boušková A.* Statistical interpretation of WEBNET seismograms by artificial neural nets // *Studia Geophysica et Geodaetica*. 2000. V. 44, N 2. P.251–271.
- Reading A., Mao W., Gubbins D.* Polarization filtering for automatic picking of seismic data and improved converted phase detection // *Geophys. J. Int.* 2001. V. 147, N 1. P.227–234.
- Scarpetta S., Giudicepietro F., Ezin E.C., Petrosino S., Del Pezzo E., Martini M., Marinaro M.* Automatic classification of seismic signals at Mt. Vesuvius Volcano, Italy, using neural networks // *Bull. Seismol. Soc. Amer.* 2005. V. 95, N 1. P.185–196.
- Sick B., Guggenmos M., Joswig M.* Chances and limits of single-station seismic event clustering by unsupervised pattern recognition // *Geophys. J. Int.* 2015. V. 201, N 3. P.1801–1813.
- Williams R.J., Zipser D.* A learning algorithm for continually running fully recurrent neural networks // *Neural Computation*. 1989. V. 1. P.270–280.
- Wiszniowski J., Plesiewicz B.M., Trojanowski J.* Application of real time recurrent neural network for detection of small natural earthquakes in Poland // *Acta Geophysica*. 2014. V. 62, N 3. P.469–485.
- Withers M., Aster R., Young C., Beiriger J., Harris M., Moore S., Trujillo J.* A comparison of select trigger algorithms for automated global seismic phase and event detection // *Bull. Seismol. Soc. Amer.* 1998. V. 88, N 1. P.95–106.
- Zhang H., Thurber C., Rowe C.* Automatic P-wave arrival detection and picking with multiscale wavelet analysis for single-component recording // *Bull. Seismol. Soc. Amer.* 2003. V. 93, N 5. P.1904–1912.